

基于柔性 HIL 台架的车辆配置仿真测试的研究

邵凌宇 吉岩 田晓刚 李岩 于弘雨 王海彬

中国第一汽车集团有限公司, 中国·吉林 长春 130000

摘要: 随着汽车电子电器的快速发展, 车辆配置的复杂性和多样性日益增加, 传统的测试方法已无法满足现代汽车设计与验证的需求, 硬件在环 (HIL) 仿真测试逐渐成为一种有效的解决方案。柔性 HIL 台架以智能配线装置为基础实现车辆高低配置的迅速切换, HIL 测试平台以 dSPACE 工具链为基础实现多项车辆功能性验证。基于柔性 HIL 测试台架的车辆配置仿真测试通过实时和虚拟仿真测试, 提供对不同车辆配置的全面评估, 能够有效减少车辆物理原型的需求, 降低开发成本与时间。

关键词: HIL 台架; 虚拟仿真测试; 车辆功能性测试; 车辆配置切换

Research on Vehicle Configuration Simulation Test based on Flexible HIL Bench

Lingyu Shao Yan Ji Xiaogang Tian Yan Li Hongyu Yu Haibin Wang

China FAW Group Co., Ltd., Changchun, Jilin, 130000, China

Abstract: With the rapid development of automotive electronics and appliances and the increasing complexity and diversity of vehicle configuration, traditional test methods can no longer meet the needs of modern automotive design and verification, and hardware-in-the-loop (HIL) simulation test has gradually become an effective solution. The flexible HIL bench is based on the intelligent wiring device to realize the rapid switching of the high and low configuration of the vehicle, and the HIL test platform is based on the dSPACE tool chain to realize a number of vehicle functional verification. Flexible HIL test bench-based vehicle configuration simulation testing provides a comprehensive evaluation of different vehicle configurations through real-time and virtual simulation testing, effectively reducing the need for physical vehicle prototypes and reducing development costs and time.

Keywords: HIL bench; virtual simulation test; vehicle functional test; vehicle configuration switching

0 前言

近年来, 随着汽车工业的飞速发展, 车辆的电子电器系统变得愈加复杂。传统的车辆测试方法通常依赖物理原型车进行设计验证和功能测试, 然而随着车辆配置的多样化与复杂性不断增加, 传统方法不仅耗时耗力, 而且开发成本也随之增加。为了应对这些挑战, 硬件在环 (HIL) 仿真测试技术逐渐成为一种有效且可靠的解决方案^[1]。

柔性 HIL 台架, 作为 HIL 仿真技术的扩展, 利用智能配线装置实现不同车辆配置的快速切换, 进一步提升了测试的效率和精准性。本研究旨在探讨基于柔性 HIL 台架的车辆配置仿真测试的关键技术与应用场景。论文将为汽车设计与验证领域提供新的技术思路, 并展示其在缩短开发周期、降低开发成本以及提升测试效率等方面的优势。研究还将探讨柔性 HIL 台架在不同测试要求下的适应性与灵活性, 为未来的汽车测试方法提供新的思路与方向^[2-3]。

1 柔性 HIL 台架的车辆配置仿真测试

在现代汽车开发过程中, 硬件在环 (HIL) 测试技术逐渐成为一种解决方案, 它能够在开发过程中, 基于虚拟仿真

平台与物理硬件的交互, 为车辆的不同配置进行功能验证。为了提升测试的效率和灵活性, 柔性 HIL 台架在此基础上产生, 特别是在配线装置的结合与车辆配置写入方面的进步, 使得车辆的高低配置能够快速切换并进行验证。

HIL (Hardware-in-the-Loop, 硬件在环) 测试是一种在车辆设计早期应用广泛的仿真测试技术。该方法通过将关键的物理硬件 (如 ECU、传感器、负载等) 集成到虚拟仿真环境中, 使其能够在不依赖整车或物理原型的情况下进行功能验证和诊断测试。

柔性 HIL 台架的引入则进一步扩展了 HIL 测试的应用场景。柔性 HIL 台架通过智能化的设计, 实现了自动切换与适应不同测试场景的能力, 大大提高了测试效率, 尤其是在面对多种车辆配置的快速切换时表现出色。

2 柔性 HIL 台架车辆配置仿真测试平台

柔性 HIL 台架车辆配置仿真测试平台由三个核心模块构成: 订单解析模块、配置存储模块和自动化配置写入模块。这三个模块实现了从车辆订单解析到配置写入的自动化流程, 提升了车辆功能验证的效率与精度, 整体架构如图 1 所示。

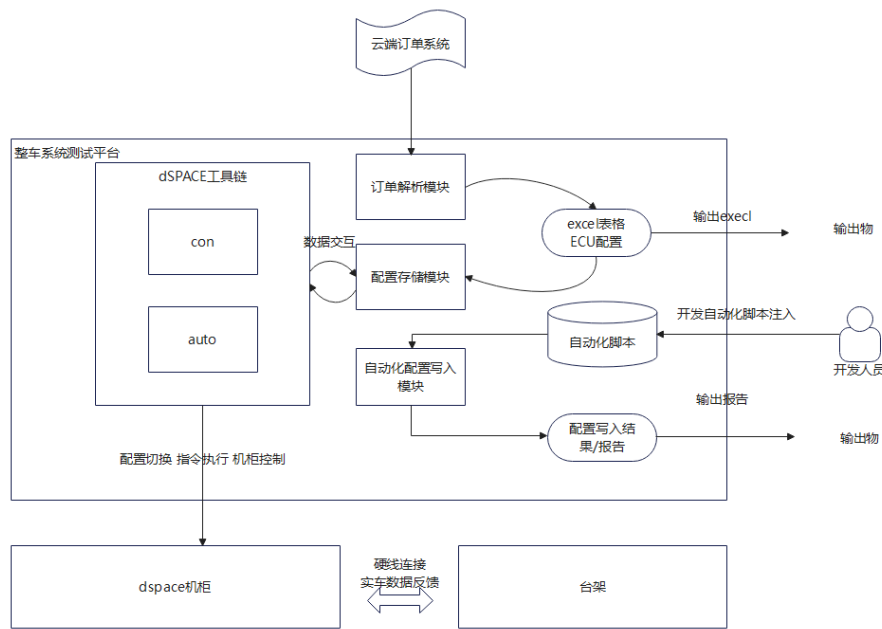


图 1 柔性 HIL 台架车辆配置仿真测试平台架构

2.1 订单解析模块

订单解析模块是仿真测试平台的起点，其主要任务是将云端的车辆订单信息进行解析，生成相应的车辆配置参数。订单解析模块通过预先定义的解析规则，将这些订单信息转换为系统可以识别的配置数据^[4]。

订单解析模块解析车辆订单，提取车辆订单中的 ECU 信息与 ECU_code 信息，依赖于内部的订单解析算法和数据映射库将其拆解成多个配置指令生成不同的配置表格，传递给下游的配置存储模块。

2.2 配置存储模块

配置存储模块负责对订单解析模块生成的配置数据进行存储与管理。配置存储模块能够与 dSPACE 工具链进行数据交互，显示对应订单文件的配置信息，便于准确切换台架配置。

该模块还具备历史数据存储与版本管理功能。系统能够记录每一次配置的变化过程，并为不同版本提供回溯功能，根据需求调用特定版本的配置数据，确保测试的准确性。

2.3 自动化配置写入模块

自动化配置写入模块负责将存储的配置数据自动写入到 HIL 仿真系统中，实现对车辆配置的功能仿真与测试。该模块通过与 dSPACE 工具链的集成，能够将不同的车辆配置参数无缝地加载到仿真环境中，动态调整测试台架的连接状态，减少人工干预，极大地提升了测试过程中的灵活性与效率。

3 仿真测试

仿真测试部分详细阐述了柔性 HIL 台架在车辆配置测试中的应用，展示了如何实现不同车辆配置的快速切换与功能验证并进行车辆测试。

3.1 台架硬件

3.1.1 dSPACE 台架介绍

dSPACE 是当前主流的硬件在环（HIL）仿真测试工具之一，它能够在高精度、高实时性的环境下，模拟车辆的不同工况。dSPACE 平台具有高性能的处理能力，能够实现复杂车辆系统的多层次、多工况仿真。

dSPACE 台架的架构主要由实时仿真单元、I/O 接口板、通讯模块以及电源模块组成。dSPACE 还通过与 MATLAB/Simulink 深度集成，可直接部署到 dSPACE 平台上进行实时仿真。dSPACE 还配备了支持 CAN、LIN、FlexRay 等总线协议的通信模块，使得它能够支持多种类型的车辆通信网络，实现对多系统的联合仿真。

3.1.2 台架线束连接

dSPACE 台架与外部 ECU、传感器以及执行器的连接主要依赖于一系列精密的线束系统。这些线束用于传输控制信号、电源信号以及通信信号，确保台架与车辆各个电子控制单元之间的数据交互实时、准确。图 2 为柔性台架的连接示意图。

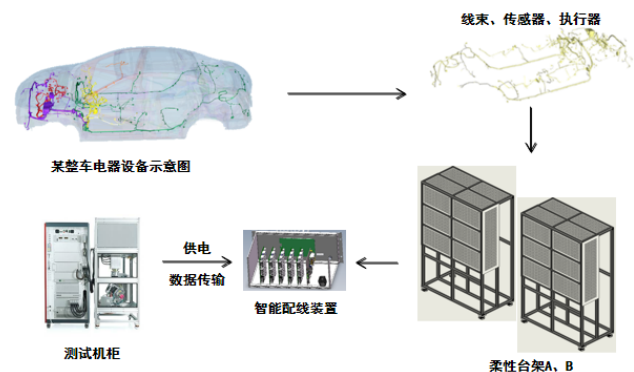


图 2 柔性 HIL 台架连接示意图

3.2 智能配线装置

3.2.1 配线装置原理

智能配线装置能够实现不同车辆配置之间的快速切换。该装置由电子开关、继电器矩阵和控制模块组成,通过软件控制实现硬件线路的自动化调整。传统 HIL 测试系统在进行不同配置切换时,往往需要人工干预,更改硬件的连接方式,而智能配线装置能够在数秒内完成多个车辆配置的切换,极大提升了测试的灵活性与测试的效率,其内部电路如图 3 所示。

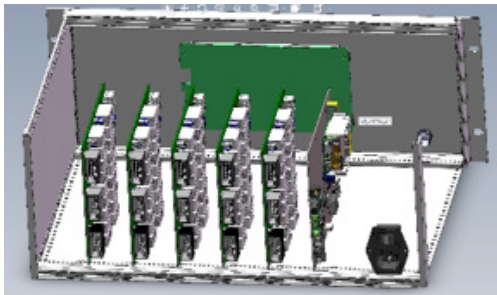


图 3 智能配线装置电路图

3.2.2 配线装置连接

配线装置的连接设计主要考虑了高效性与兼容性。它与台架系统的连接方式通过标准化接口实现,确保不同类型的 ECU、传感器和执行器能够无缝集成到 HIL 台架中。为了实现多种配置的自动化切换,配线装置的连接布局预留了多个冗余接口,以支持更多的测试需求。

3.3 台架配置写入

3.3.1 配置切换原理

台架配置切换原理基于预定义的测试配置库和自动化的硬件切换机制。通过软件指令,系统能够快速调整台架与各 ECU、传感器的连接方式,从而实现不同车辆配置的硬件映射。配置切换的过程是实时的,不会对正在进行的测试造成中断,这也使得工程师能够在更短的时间内验证更多的车辆配置组合。

3.3.2 配置写入结果与流程

配置写入的过程通常包括以下步骤:首先系统从云端加载配置 XML 文件即车辆订单文件,然后将这些配置通过自动化系统写入 HIL 台架。写入完成后,系统会自动生成配置报告,记录写入的配置参数和对应的硬件连接状态。柔性台架能识别到连接到台架的控制器信息。

通过这一流程,测试工程师能够直观地了解每次配置写入的结果,确保配置的正确性与一致性。在配置写入的过程中,系统会对写入的结果进行自动校验,确保硬件和软件的匹配度,并及时反馈潜在的配置问题。

3.4 诊断功能测试

3.4.1 版本号

每次配置切换和测试执行时,系统会自动记录当前使用的配置版本号和软件版本信息,确保后续分析和问题定位中,能够准确还原当时的测试环境,这些版本信息也会记录到每次配置切换与测试的结果之中。

3.4.2 诊断服务测试

车辆的电子控制系统在故障检测和诊断方面,依赖于一系列标准化的诊断服务,通常为标准的 UDS 测试。通过柔性 HIL 台架,工程师可以模拟不同的故障场景,验证各 ECU 对故障的检测、报告和响应能力。

通过模拟包括传感器故障、通信中断、执行器失效等多种场景,诊断测试能够确保 ECU 的容错能力,以及其对故障的报告机制。在实际应用中,这种诊断能力对于提升车辆安全性和可靠性具有重要意义,DTC 反馈的测试也是车辆 HIL 测试的关键步骤^[5]。

4 结语

论文围绕基于柔性 HIL 台架的车辆配置仿真测试进行了深入研究和探讨。分析传统的测试方法已难以满足多样化配置的需求,柔性 HIL 台架以其高效的硬件配置切换能力和灵活的仿真环境,为多种车辆配置的快速验证提供了有效的解决方案。通过智能配线装置与 dSPACE 仿真平台的集成,柔性 HIL 台架能够在不影响测试进程的情况下,实现多车辆配置间的自动切换。

柔性 HIL 台架在车辆配置仿真测试中的应用,不仅减少了对物理原型车的需求,降低了开发成本与时间,还为未来更多智能化、自动化的车辆功能验证开辟了新的道路。

参考文献:

- [1] 石天宇,徐长钊.多功能汽车电器实验台架设计与开发[J].汽车实用技术,2024,49(17):44-49.
- [2] 唐逸超,宋永雄,潘登,等.场地整车在环仿真测试系统及总线注入研究[J].汽车实用技术,2024,49(17):88-94.
- [3] 任勇,张文平,王涛,等.基于车载以太网的HIL实时仿真测试平台的研究及应用[J].汽车电器,2024(1):73-77+80.
- [4] 张金玉,李婷婷,马凤乾.基于XML的多类型数据解析软件设计[C]//天津市电子工业协会2024年年会论文集,2024.
- [5] 喻露.基于CAN总线的车辆配置的设计[J].时代汽车,2018(11):103-104.

作者简介:邵凌宇(1990-),男,中国吉林长春人,本科,工程师,从事汽车电子电器检测研究。